

ebene jeweils vier hochempfindliche CCDs besitzen. Von einem der Lagrange-Punkte 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt wird Plato fast 50 Prozent des Himmels beobachten. Das Teleskop arbeitet mit der Transitmethode, bei der winzige Helligkeitsänderungen beim Transit eines Planeten in Sichtlinie zum Stern dazu dienen, den Planeten zu entdecken und seinen Radius zu bestimmen. Bei sehr hellen Sternen können große Teleskope vom Boden aus zudem die charakteristischen Veränderungen der Spektrallinien nachweisen, die der Planet verursacht. Die Radialgeschwindigkeitsmethode erlaubt somit den Rückschluss auf die Masse des Planeten. Aus der Kenntnis von Masse und Radius lässt sich auf die mittlere Dichte schließen und eindeutig die Frage klären, ob es sich um einen Gas- oder Gesteinsplaneten handelt. „Die Frage ist deswegen in den letzten Jahren so wichtig geworden, weil wir dank Kepler und Corot Planetenkandidaten haben – auch mit Erdradius.

Aber wir können deren Masse nicht genau genug bestimmen, weil sie um zu dunkle Sterne kreisen“, erklärt Heike Rauer vom DLR-Institut für Planetenforschung und vom Zentrum für Astronomie und Astrophysik der TU in Berlin, die das Missionskonsortium bei Plato leitet. Aus diesem Grund ist bei den meisten Exoplaneten nicht klar, ob es sich um eine Supererde oder einen Minigasplaneten handelt. „Niemand hatte damit gerechnet, dass so etwas passieren würde, denn in unserem Sonnensystem kennen wir keine erdgroßen Gasplaneten“, sagt Rauer.

Im nächsten Schritt werden die an Plato beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Design des Instruments genauer ausarbeiten und optimieren, um für die Begutachtung der ESA Anfang 2016 gerüstet zu sein. Erst nach der endgültigen Bewilligung kann der Bau der 34 Teleskope und über 100 CCDs starten. Für die Wissenschaftler bedeutet dies eine riesige technologische Herausforderung:

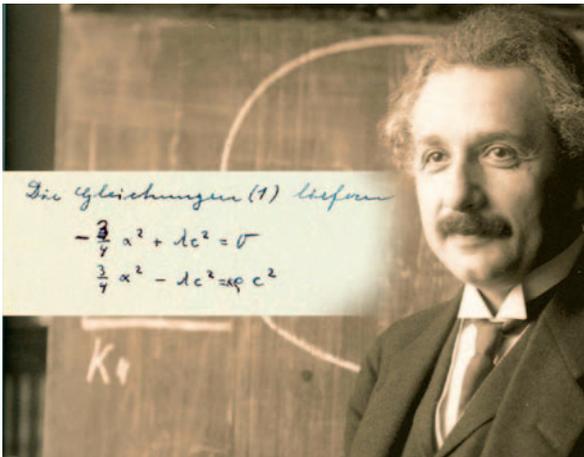
„Noch niemals ist ein Satellit mit mehr Teleskopen und CCDs geflogen“, verdeutlicht Heike Rauer.

Vor Plato wird neben Cheops auch die NASA-Mission Tess starten. Beide Missionen sind darauf ausgelegt, kurzperiodische Planeten anzuschauen. Übertragen auf unser Sonnensystem bedeutet das, dass diese Planeten innerhalb der Merkurbahn kreisen würden und kein Leben auf ihnen möglich wäre. „Keine bisherige und geplante Mission außer Plato ist in der Lage, Gesteinsplaneten in der habitablen Zone von sonnenähnlichen Sternen aufzuspüren und sicher zu identifizieren“, bringt es Heike Rauer auf den Punkt. Darüber hinaus gilt es zu klären, was es mit den Minigasplaneten auf sich hat, die Kepler und Corot identifiziert haben. Wie sind diese entstanden? Warum gibt es sie in unserem Sonnensystem nicht? Und was ist überhaupt ein typisches Sonnensystem? Mit Plato wird die Antwort auf diese Fragen erstmals in greifbare Nähe rücken.

Maïke Pfalz

■ Einsteins kosmischer Rechenfehler

Albert Einstein hat sich mit einem Steady-State-Modell befasst, fast zwei Jahrzehnte vor Fred Hoyle.



Ein Rechenfehler mit kosmischen Folgen: Die „-3“ statt einer „9“ hat zur Folge, dass Einsteins Gleichungen nur ein leeres Universum beschreiben.

Als Einstein seine Allgemeine Relativitätstheorie auf das gesamte Universum anwendete, erschien ihm nur ein statisches Universum annehmbar. Doch wie Edwin Hubbles Beobachtungen 1929 zeigten, bewe-

gen sich alle Galaxien voneinander weg, und das Universum ist nicht statisch, sondern dehnt sich ständig aus. Georges Lemaître kam nur zwei Jahre später zu dem Schluss, das heutige Universum müsse seinen Ursprung in einer Art „Uratom“ mit größtmöglicher Dichte haben und sich durch seine Expansion immer weiter ausdünnen. Der britische Astronom Fred Hoyle zog gegen Lemaîtres Idee zu Felde und entwickelte ab 1948 mit seiner Steady-State-Theorie eine Alternative zum „Big Bang“. Dieser von Hoyle spöttisch gemeinte Begriff hat sich im populären wie wissenschaftlichen Sprachgebrauch etabliert.

Nach der Steady-State-Theorie expandiert das Universum zwar auch, aber nicht von einem extrem dichten und heißen Ursprung aus. Stattdessen sollte seine Dichte konstant bleiben, weil immer

neue Materie aus dem Vakuum heraus entsteht. Die Entdeckung des kosmischen Mikrowellenhintergrundes, gewissermaßen des Nachhalls des Urknalls, durch Wilson und Penzias im Jahre 1965 besiegelte allerdings das Ende der Steady-State-Theorie.

Wie gleich zwei Analysen zeigen, hat sich Einstein bereits 1931 mit einem expandierenden Universum befasst, in dem ständig neue Materie entsteht. Darauf deutet ein bisher unveröffentlichtes Manuskript Einsteins hin, das der Astronom Harry Nussbaumer von der ETH Zürich und der irische Physiker Cormac O’Raifeartaigh vom Waterford Institute of Technology mit weiteren Kollegen unabhängig voneinander genauer unter die Lupe nahmen.

Das vierseitige Manuskript mit dem Titel „Zum kosmologischen

Problem“, das auf der Website des Einstein-Archives der Hebräischen Universität Jerusalem frei verfügbar ist, blieb lange unbeachtet, weil es als Entwurf zur 1931 veröffentlichten Arbeit „Zum kosmologischen Problem der Allgemeinen Relativitätstheorie“ angesehen wurde. Nussbaumer und O’Raifeartaigh lasen das Manuskript jedoch gründlicher und stießen auf überraschende neue Aspekte.⁺⁾

Einstein diskutiert darin zunächst seinen gescheiterten Versuch, im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie eine statische Lösung für das Universum zu finden, indem er eine „kosmologische Konstante“ λ einführte. Das widersprach Hubbles Beobachtung einer mit der Entfernung wachsenden Rotverschiebung der Galaxien. Die dynamischen Modelle von Willem De Sitter und Richard Tolman hielt

Einstein jedoch für unannehmbar, da sie „auf einen zeitlichen Anfang führten, der ungefähr 10^{10} – 10^{11} Jahre zurückliegt“.

Einstein setzte an, ein Modell für ein expandierendes Universum mit konstanter Dichte zu formulieren. Dafür nahm er an, dass „immer neue Massenteilchen in dem Volumen aus dem Raume entstehen“. Ähnliches hatte James Jeans 1928 postuliert. Doch wie Nussbaumer und O’Raifeartaigh zeigen, offenbart Einsteins Manuskript einen Rechenfehler in einer der beiden zugrunde liegenden Gleichungen. Korrigiert ergibt sich nämlich ein leeres Universum und nicht ein expandierendes mit konstanter endlicher Dichte im Sinne von Hoyles späterer Steady-State-Theorie.

Ein genaues Datum ist auf Einsteins Manuskript nicht vermerkt.

Aufgrund der Tatsache, dass er auf amerikanischem Papier schrieb, und wegen passender Stellen in Einsteins Tagebuch datiert Harry Nussbaumer das Manuskript auf Januar 1931. Zu dieser Zeit war Einstein in Pasadena, wo er intensiv mit Richard Tolman über Kosmologie diskutierte, was in seine Überlegungen eingeflossen sein könnte.

Klar scheint in jedem Fall: Einstein hat die Steady-State-Theorie von Hoyle vorweggenommen, sein Flirt mit dieser Art von kosmologischem Modell war nur kurz und blieb folgenlos. Dafür feierte seine von ihm selbst verworfene „kosmologische Konstante“ eine Wiedergeburt als Erklärung für die beschleunigte Expansion des Universums. Wie beides zeigt, konnte auch Einstein sich irren, wenn auch auf geniale Weise.

Alexander Pawlak

+) H. Nussbaumer, arXiv:1402.4099v2 (2014) [erscheint im Gedenkbuch „In memoriam Hilmar W. Duerbeck“, Acta Historica Astronomiae]; C. O’Raifeartaigh et al., arXiv:1402.0132v2 (2014) [eingereicht bei Eur Phys J (H)]

EUROPA

Energie für die Grande Nation

Die französische Energieforschungsagentur ANCRE¹⁾ hat Szenarien für eine drastische Reduktion der CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 veröffentlicht. Diese Szenarien sollen als langfristige Entscheidungshilfen und bei der Formulierung aktueller Forschungsprogramme helfen.

Die Szenarien sehen bis 2050 einen Rückgang des Endenergieverbrauchs um 27 bis 41 Prozent vor, bei dann etwa doppelt so hohen Energiepreisen. Die Treibhausgas-Emissionen sollen um 65 bis 75 Prozent reduziert werden, die Energie-Importquote von heute 50 auf rund 30 Prozent sinken. Die Unterschiede zwischen den Szenarien liegen in den verschiedenen Pfaden zur Erreichung dieser Ziele. Das erste Szenario „Sobriété renforcée“ (SOB, „verstärkte Mäßigung“) stellt die Verbrauchssenkung in den Vordergrund sowie stark verbesserte Wirkungsgrade, Wärmedämmung und einen hohen Anteil erneuerbarer Energien. Der zweite Pfad, „Décarbonisation par l’électricité“

(ELE, „Dekarbonisierung durch Strom“), legt den Schwerpunkt auf Elektromobilität und kohlenstofffreie Stromproduktion. Der dritte Pfad setzt auf „Vecteurs diversifiés“ (DIV, „diversifizierte Energieträger“). Hier liegt der Schwerpunkt auf der Energiegewinnung aus Biomasse und Abfällen von Kernkraftwerken sowie auf Kraft-Wärme-Kopplung; letztere etwa durch den Anschluss von Kernkraftwerken an Fernwärmenetze für Gebäudeheizung und die Bereitstellung industrieller Prozesswärme. Der Anteil der Kernenergie soll (in allen drei Szenarien) bis 2025 auf „nur noch“ 50 Prozent sinken.

Außer den genannten Technologien werden die folgenden Ansätze als wesentlich für das Gelingen betrachtet: Abscheidung, Speicherung und Wiederverwertung von CO₂ (bis 40 Mio. t), intelligente Netze und Elektrizitätsspeicher hoher Kapazität (ca. 40 TWh).

Insgesamt schätzt man die benötigten Investitionen auf bis zu eine Billion Euro ein. Diesen Aufwendungen stehen – neben der klimapolitischen Notwendigkeit – eine

bessere Handelsbilanz wegen der reduzierten Energieimporte sowie positive Arbeitsmarkteffekte durch die Förderung einheimischer Technologien entgegen.

Die Forschungsanstrengungen für die energietechnische Zukunft Frankreichs haben bereits begonnen. Die mit der DFG vergleichbare nationale Forschungsagentur ANR (Agence nationale de la recherche) fördert seit 2011 mit rund einer Milliarde Euro spezialisierte Exzellenzinstitute der Energieforschung.²⁾ Nach zunächst neun Einrichtungen wurden Ende 2013 zwei weitere „Instituts pour la transition énergétique“ (ITE) in das Programm aufgenommen, die sich mit der einheimischen Solartechnik bzw. Verwendung von Biomasse und der Kunststoffherstellung aus biologischen Rohstoffen beschäftigen.

Neues EU-Patent auf Zielgerade

Eine bis in die 1970er-Jahre zurückreichende Initiative der Europäischen Union befindet sich seit Jahresbeginn auf der Zielgeraden:

1) www.allianceenergie.fr/en/index.asp; die ANCRE (Alliance nationale de coordination de la recherche pour l’énergie) wurde von CNRS, CEA und IFP Energies nouvelles gegründet.

2) bit.ly/1ejOqlc